

MODEL PENDUGAAN BIOMASSA DI AREAL REVEGETASI BEKAS TAMBANG NIKEL

(Biomass Estimation Model in Revegetation Area of Nickel Post-Mining)

WITNO¹⁾, NINING PUSPANINGSIH²⁾ DAN BUDI KUNCAHYO³⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan Fakultas Kehutanan, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

^{2,3)} Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Email : witno_valovho@gmail.com

Diterima 18 Oktober 2018 / Disetujui 31 Desember 2018

ABSTRACT

Deforestation and forest degradation are one of the most crucial issues in the forestry sector. The impact of deforestation and forest degradation due to the opening of forest areas for mining activities that causes damage to sustainable forest ecology. This condition requires companies as miners to carry out revegetation activities in post-mining areas to restore forest existence. PT. Vale of Indonesia (PTVI) is a nickel mining company located in Sorowako, South Sulawesi Province, which has carried out revegetation activities and is considered quite successful. This assessment has not included biomass as an indicator of forest productivity. Biomass is one of the determinants of forest productivity in post-mining areas needs to be further investigated to maximized revegetation management. The objective of this study was to measure and construct a model for estimating biomass in the revegetation of the post-mining area in PTVI. The results of this study obtained a regression model of the rank as a biomass estimator in the revegetation of the post-mining area in PTVI. The form of the selected model equation is $Y = 2,59505E-13 X_1^{2,489} X_2^{3,645}$. The independent variable is $X_1 = DVI$ (vegetation index) and $X_2 = C\%$ (percentage of canopy). The regression model chosen has a determination coefficient of 70,60% and a standard deviation of -0,33528.

Keywords: biomass, post-mining, regression model, revegetation

ABSTRAK

Deforestasi dan degradasi hutan adalah salah satu isu paling krusial di sektor kehutanan. Dampak deforestasi dan degradasi hutan menyebabkan kerusakan ekologi berkesinambungan. Kondisi ini mewajibkan perusahaan sebagai penambang untuk melakukan kegiatan revegetasi di areal bekas tambang untuk mengembalikan eksistensi hutan. PT.Vale Indonesia (PTVI) adalah perusahaan tambang nikel yang berlokasi di Sorowako, Provinsi Sulawesi Selatan yang telah melakukan kegiatan revegetasi dan dinilai cukup berhasil. Penilaian ini belum memasukkan biomassa sebagai indikator produktivitas hutan. Sehingga dalam perencanaan pengelolaan hutan di areal revegetasi perlu diteliti dan diketahui jumlah kandungan biomassa dan pola sebaran spasial dari biomassa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dan membangun model pendugaan biomassa di areal revegetasi bekas tambang PTVI. Hasil penelitian ini diperoleh model regresi berpangkat sebagai penduga biomassa di area revegetasi bekas penambangan PTVI. Bentuk persamaan model terpilih adalah $Y = 2,59505E-13 X_1^{2,489} X_2^{3,645}$. Variabel bebas $X_1 = DVI$ (indeks vegetasi) dan $X_2 = C\%$ (persentase tajuk). Model regresi yang dipilih memiliki koefisien determinasi sebesar 70,60% dan standar deviasi -0,3528.

Kata kunci: bekas tambang, biomassa, model regresi, revegetasi

PENDAHULUAN

Deforestasi dan degradasi akibat pembukaan wilayah hutan untuk aktivitas pertambangan menyebabkan kerusakan ekologi hutan berkesinambungan. Aktivitas pertambangan ini, juga mengakibatkan kerusakan lingkungan, vegetasi maupun kondisi biologis. PT. Vale Indonesia (PTVI) sebagai salah satu perusahaan tambang nikel yang terletak di Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan telah melakukan aktivitas pertambangan sejak tahun 1970. Aktivitas pertambangan sebagai bagian dari pembukaan wilayah hutan menyebabkan terjadinya degradasi hutan dan lahan. Sehingga upaya dalam agenda pemulihan kualitas hutan yakni melakukan revegetasi pada areal bekas tambang. Menurut Smith *et al.* (2016), salah satu

upaya pengendalian dan perbaikan kerusakan lahan akibat aktivitas pertambangan adalah optimalisasi kegiatan reklamasi hutan. Wei *et al.* (2011) menyatakan bahwa revegetasi merupakan serangkaian komponen terpenting dari kegiatan reklamasi. Tujuan revegetasi adalah untuk meningkatkan biodiversitas, tutupan dan stratifikasi tajuk, kesuburan tanah, mempercepat terjadinya kolonisasi dan masuknya satwa liar serta memperbaiki kondisi lingkungan hutan (Setiadi 2005; Puspaningsih 2011). Revegetasi merupakan bagian dari kegiatan reklamasi yang melakukan kegiatan penanaman kembali pada lahan bekas tambang (Adnyano 2016).

Revegetasi lahan pada areal bekas tambang PTVI yang dilakukan pada tahun 1980 telah mengalami perkembangan yang cukup baik. Menurut Abubakar (2009); Puspaningsih (2011), bahwa areal revegetasi

bekas tambang nikel PTVI dinilai cukup berhasil berdasarkan pada aspek vegetasi, indeks kolonisasi dan masuknya satwa liar, indeks keanekaragaman, indeks tajuk dan kesuburan tanah. Namun demikian, penelitian tersebut belum menilai kandungan biomassa sebagai salah satu indikator produktivitas hutan (Hilmi 2003). Menurut Pflugmacher *et al.* (2014), kandungan biomassa hutan menggambarkan keterkaitan kondisi tegakan hutan dengan proses pengelolaan hutan maupun gangguan alami. Struktur tajuk merupakan properti mendasar dari ekosistem hutan yang mempengaruhi iklim mikro, limpasan, dekomposisi, siklus nutrisi, gangguan hutan, keanekaragaman hayati dan penyimpanan karbon (Hansen *et al.* 2014). Pendekatan pengukuran kandungan biomassa karbon dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat kerusakan hutan akibat deforestasi dan degradasi hutan (Achmad *et al.* 2013).

Biomassa adalah komponen penting dalam menilai perubahan struktur hutan. Menurut Jaya *et al.* (2013), distribusi biomassa hutan tergantung pada ekosistem hutannya. Meningkatnya kondisi lingkungan hutan di areal revegetasi bekas tambang dapat dilihat dari jumlah kandungan biomassa. Syaufina dan Ikhsan (2013), menilai bahwa semakin tinggi tingkat keberhasilan kegiatan revegetasi di areal bekas tambang maka potensi penyerapan biomassa karbon dari lahan juga semakin besar. Areal revegetasi bekas tambang memiliki tingkat produktivitas berbeda berdasarkan kandungan biomassa. Besarnya kandungan biomassa dipengaruhi oleh umur, jenis tanaman, kerapatan dan struktur tegakan serta kualitas kesuburan tanah (Jaya *et al.* 2017). Kandungan biomassa terletak di atas maupun di bawah permukaan tanah. Menurut Sutaryo (2009), biomassa di atas permukaan tanah mencakup batang, cabang, ranting, daun, bunga dan buah baik strata pohon dan strata tumbuhan bawah di lantai hutan. Biomassa di bawah permukaan tanah mencakup semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup.

Kandungan biomassa berkaitan dengan proses pengembangan, praktik pengelolaan hutan, proses regenerasi tegakan yang kompleks dan berbagai gangguan alam. Areal revegetasi bekas tambang PTVI dinilai cukup berhasil dalam pengelolaannya berdasarkan pada aspek vegetasi maupun struktur tajuk. Namun demikian, belum diketahui jumlah kandungan biomassa yang terdapat pada areal revegetasi bekas tambang nikel. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dan membangun model pendugaan biomassa di areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI, Kabupaten Luwu Timur, Propinsi Sulawesi Selatan. Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari sampai Maret 2018. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian di lapangan adalah *GPS*, *true pulse*, peta kerja, meteran roll, *phi-band*, timbangan

digital, timbangan gantung, tali rafia, patok, *tally sheet*, parang, kompas sunto, alat tulis, gunting stek, kantong plastik, *cutter*, kalkulator, *box* spesimen, label spesimen, oven, *software Arc-Gis 10.4*, Minitab 17, Erdas 2014, kamera digital dan Citra SPOT 6 tahun 2017.

Penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu prapengolahan citra, pembuatan indeks vegetasi dan persen tutupan tajuk (C%), pengambilan data lapangan, penghitungan biomassa, analisis statistik, perumusan model penduga biomassa, uji normalitas data, uji validasi dan pemilihan model persamaan terbaik. Pengambilan data menggunakan dua metode yaitu metode terestris dan metode penginderaan jauh (Foody *et al.* 2003). Metode terestris digunakan untuk memperoleh data yang akurat di lapangan sedangkan metode penginderaan jauh digunakan untuk memudahkan dan mengefisienkan waktu dalam pengambilan data, dengan menggunakan citra satelit SPOT 6 tahun 2017. Citra SPOT 6 memiliki 4 Band yaitu Band 1 (*Blue*), Band 2 (*Green*), Band 3 (*Red*) dan Band 4 (*Near Infra Red*). Penggunaan citra satelit dalam menduga biomassa telah banyak dilakukan. Achmad *et al.* (2013), menduga kandungan biomassa menggunakan citra ALOS PALSAR pada transisi ekosistem hutan dataran rendah. Metode untuk menganalisa indeks vegetasi antara lain NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI-2 (*Enhanced Vegetation Index-2*), dan SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) (Prameswari *et al.* 2015).

Selain itu, data SPOT/Vegetation banyak digunakan untuk memantau perubahan lingkungan dan perubahan tutupan vegetasi dalam domain tematik yang berbeda seperti: pemantauan status vegetasi skala besar dan studi perubahan iklim jangka panjang (Atzberger dan Eilers 2011). Menurut Hall (2012), pendugaan biomassa hutan dapat ditentukan dengan persamaan alometrik. Persamaan alometrik dapat digunakan untuk mengkonversi data inventarisasi hutan menjadi dugaan biomassa pada tingkat pohon, maupun pada tingkat plot (Alvarez *et al.* 2012). Penggunaan rumus alometrik menyesuaikan dengan kondisi serta tipe ekosistem spesifik yang ada di daerah penelitian (KEMENHUT 2013; Krisnawati *et al.* 2012). Metode analisis data yang diterapkan dalam penelitian ini antara lain, metode klasifikasi visual citra SPOT 6 tahun 2017, metode penggunaan nilai indeks vegetasi yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), TVI (*Transformed Vegetation Index*), SRVI (*Simple Ratio Vegetation Index*), DVI (*Difference Vegetation Index*), ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), IPVI (*Infrared Percentage Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) dan RVI (*Rasio Vegetation Index*) yang digunakan untuk menduga biomassa.

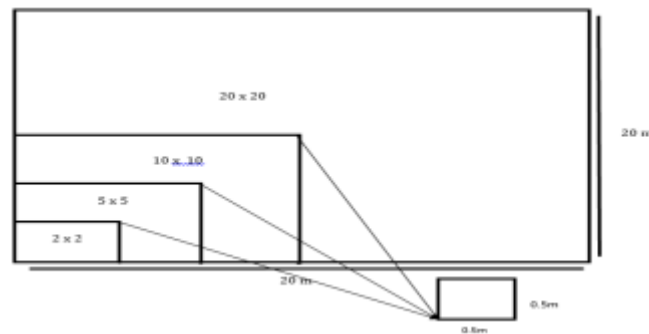
Penelitian ini menggunakan ukuran plot 20 m x 20 m. Jumlah plot contoh yang diambil sebanyak 61 plot contoh (Tabel 1) yang mewakili sebaran nilai indeks vegetasi. Sebanyak 41 plot untuk model, 20 plot untuk

validasi model. Model plot mengacu pada Rusolono *et al.* 2015. Model plot penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Menurut Xue dan Su (2017); Puspaningsih

(2011), penghitungan nilai indeks vegetasi dan persentasi tajuk dari citra dapat menggunakan rumus pada Tabel 2.

Tabel 1 Sebaran plot dan nilai indeks vegetasinya

Lokasi dan tahun tanam	C%	RVI	DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	SAVI	SRVI	TVI	ARVI
PongsesaQuarry_1999	96	0,207661	717,32	0,492351	0,828047	0,656093	0,98369	4,815532	0,524497	0,954153
WatulabuSouth_2000	88	0,219411	649,2	0,467015	0,820068	0,640136	0,95973	4,55765	0,525124	0,963176
koroSouth_2001	88	0,241026	584,44	0,44826	0,805785	0,611569	0,916874	4,148922	0,525297	0,936331
KoroSouth_2002	93	0,249167	585,92	0,42443	0,800533	0,601067	0,901138	4,013372	0,524832	0,894722
Diana_2003	86	0,20642	654,64	0,475971	0,828899	0,657797	0,986201	4,844491	0,525709	0,976614
Elaine_0203_2003	90	0,174817	717,48	0,502419	0,851196	0,702393	1,053073	5,720263	0,526223	1,032255
Lamangka_paulina_dsp_2003	90	0,145352	877,04	0,578041	0,873094	0,746188	1,118807	6,879861	0,525196	1,031677
Debbie2004	94	0,164275	736,04	0,539559	0,858904	0,717808	1,076187	6,087365	0,526458	1,049616
Manggali_01_04022004	88	0,213055	818,36	0,500519	0,824365	0,64873	0,97271	4,693627	0,522677	0,857929
Anoa_02_05042005	93	0,184134	862,24	0,531075	0,844499	0,688998	1,033085	5,430832	0,523464	0,94058
Olivia_05042005	91	0,254242	596,04	0,431817	0,797295	0,594589	0,891439	3,933268	0,524355	0,882159
Anoa Valley_02_06012006	94	0,154845	1028,52	0,58479	0,865917	0,731834	1,097361	6,458077	0,52282	0,966645
Harapan_dsp_02_062006	93	0,200851	691,36	0,501579	0,832743	0,665486	0,997749	4,978821	0,52531	0,965404
Koro North_06042006	91	0,178799	845,64	0,537368	0,848321	0,696642	1,044533	5,592874	0,523956	0,961223
Anoa Valley_07012007	97	0,154051	1067,52	0,595227	0,866513	0,733026	1,099161	6,491358	0,522435	0,955192
Petea A Damar_4_2007	90	0,166274	763,56	0,543689	0,857432	0,714863	1,071794	6,014184	0,52587	1,026464
Harapan_HI_08022008	89	0,219324	649,96	0,473453	0,820127	0,640254	0,959908	4,559474	0,525114	0,945325
Petea A Damar 2007	95	0,167179	802,24	0,540065	0,856767	0,713534	1,069825	5,981619	0,525192	0,998672
Petea_A_SS#102008	96	0,177375	822,76	0,512991	0,849347	0,698694	1,047454	5,637772	0,527998	1,092774
Petea B_dsp_02_092009	89	0,162743	802,36	0,541153	0,860035	0,72007	1,079621	6,144652	0,525421	1,006029
Pongsesa Dyke 07042009	96	0,240313	585,84	0,446232	0,806248	0,612496	0,918264	4,161235	0,525305	0,946194
Anoa dsp_02_102010	95	0,201856	761,918	0,515306	0,832047	0,664093	0,995706	4,954031	0,524059	0,937736
Manggali_dsp_6_102010	92	0,211174	766,96	0,500849	0,825645	0,651291	0,976522	4,735437	0,523517	0,894987
Petea_A_dsp_07_102010	90	0,190446	706,32	0,505938	0,840022	0,680043	1,019574	5,250843	0,525588	0,979041
Petea_A_Disp_4_09_B2010	98	0,142009	803,56	0,577656	0,87565	0,7513	1,126423	7,041805	0,526504	1,08653
Kathryn_01_102011	94	0,170827	827,68	0,541717	0,854097	0,708194	1,061836	5,853859	0,524616	0,977025
Petea_B_Dsp_17_112011	88	0,164244	782	0,547243	0,858926	0,717853	1,076285	6,088496	0,52567	1,013601
Anoa dsp_13_122012	97	0,257981	619,2	0,439503	0,794925	0,589849	0,884352	3,876254	0,523704	0,856215
Harapan East_dsp_01_122012	97	0,280721	557,24	0,399827	0,78081	0,561621	0,842007	3,562259	0,523792	0,838443
petea_A_Face_102012	88	0,252209	517,92	0,417694	0,798589	0,597177	0,89525	3,964965	0,52624	0,934745
Latjuba_Dsp_01_20132013	87	0,237434	523,12	0,428809	0,808124	0,616247	0,923827	4,211169	0,526944	0,978085
Anoa dsp_24_2014	96	0,390614	241	0,224927	0,719107	0,438214	0,656723	2,560073	0,528228	1,051032
Elaine dsp_01_2014	96	0,199267	812,84	0,521965	0,833843	0,667685	1,001117	5,01839	0,523419	0,863426
Inalahi dsp_05_2015	65	0,293333	621,16	0,424035	0,773196	0,546392	0,819227	3,409091	0,521923	0,715993
Anoa_North dsp_29_2016	15	0,447532	405,6	0,300964	0,690831	0,381662	0,572224	2,234478	0,518951	0,479326
Petea_B_Dsp_27_20152016	15	0,241211	766,68	0,47849	0,805665	0,611329	0,916628	4,145741	0,522078	0,758869
Petea_B_Dsp_76_20162017	0	0,372028	446,84	0,354372	0,728848	0,457697	0,686193	2,687972	0,521652	0,591358
Manggali_Hutan Alam	94	0,228805	709,16	0,465948	0,813799	0,627597	0,94098	4,370532	0,523567	0,877879
Hutan Alam Petea 1_Hutan Alam	95	0,166477	702,56	0,531006	0,857282	0,714565	1,071302	6,006842	0,526959	1,079645
Manggali_2002	91	0,190964	749,2	0,527917	0,839656	0,679312	1,018507	5,236598	0,524818	0,969041
WatulabuSouth0303_2003	95	0,173318	877,44	0,544753	0,852284	0,704567	1,056427	5,769733	0,523786	0,968545
Manggali_02_04032004	88	0,236189	689,08	0,464498	0,808938	0,617876	0,926399	4,233903	0,523538	0,857672
Watulabu q4052005	92	0,205297	757,32	0,500819	0,829671	0,659342	0,988582	4,870988	0,523959	0,933766
Pongsesa_05042005	94	0,205352	696,08	0,495221	0,829633	0,659267	0,988432	4,869691	0,524988	0,975909
Petea_02_05042006	93	0,176275	692,72	0,520723	0,850142	0,700283	1,049894	5,672963	0,526607	1,039383
Watulabu_south_06032006	95	0,281391	508,2	0,392729	0,780402	0,560803	0,840741	3,553769	0,524877	0,905891
Petea Damar 06032006	86	0,187205	784,12	0,520681	0,842315	0,68463	1,026496	5,34175	0,524449	0,936567
Delaney_0404_2007	91	0,21713	506,36	0,43842	0,821605	0,643209	0,964201	4,605525	0,528584	1,128612
Watulabu_South_Flat_07012007	88	0,234386	569,28	0,444984	0,810119	0,620239	0,929852	4,266468	0,525995	0,996349
Petea Quarry_KM_10_08032008	95	0,161106	878,96	0,574395	0,861248	0,722496	1,083299	6,207109	0,52437	0,970881
Watulabu_Tower_03_08032008	95	0,244992	517,12	0,422117	0,803218	0,606436	0,909121	4,081764	0,526668	1,02699
Petea_Helai3_07042008	93	0,168246	733,84	0,533333	0,855984	0,711968	1,067435	5,943681	0,526282	1,037034
Watulabu 05_082009	94	0,216291	686,56	0,494847	0,822171	0,644343	0,966061	4,62339	0,524591	0,939085
Delaney dsp_03_20092010	89	0,296618	519,04	0,415375	0,771237	0,542475	0,813287	3,371345	0,523811	0,779922
Watulabu_Dsp_8_102010	91	0,229482	609,48	0,460919	0,813351	0,626702	0,93957	4,357647	0,525385	0,968837
Watulabu_Dsp_09_112011	91	0,259639	592,2	0,440654	0,793878	0,587757	0,881198	3,851502	0,524153	0,862265
Petea_B_Dsp_16_112012	94	0,237693	465,16	0,399413	0,807955	0,61591	0,923254	4,207115	0,528557	1,067213
Petea_B dsp17_A_132013	88	0,123866	1128,32	0,642988	0,889786	0,779571	1,168953	8,07322	0,523208	1,000808
Petea_B_Dsp_20_2014	72	0,32788	318,8	0,287094	0,75308	0,50616	0,758638	3,049897	0,528348	0,988763
Petea_B_Dsp_25_20152016	15	0,248264	537,04	0,416786	0,801112	0,602225	0,902831	4,027966	0,525987	0,895564
Anoa_Dsp_12_2017	0	0,789317	138,68	0,170537	0,558872	0,117745	0,176542	1,266918	0,509999	0,02895



Gambar 1 Skema Plot

Tabel 2 Metode pengambilan nilai indeks vegetasi

Rumus indeks vegetasi yang diambil dari citra SPOT 6 tahun 2017	
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + rb + L} \times (1 + L)$
$SRVI = NIR/RED$	$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$
$TVI = \sqrt{\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}} + 0.5$	$IPVI = \frac{NIR}{NIR + Red}$
$ARVI = \frac{NIR - rb}{NIR + rb}$	$C\% = \frac{\text{Total luas tutupan tajuk}}{\text{Luas Plot}} \times 100\%$
$RVI = \frac{Red}{NIR}$	$DVI = NIR - RED$

Pengambilan data lapangan untuk kegiatan pendugaan potensi biomassa tegakan pohon menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan nilai indeks vegetasi. Selanjutnya, pelaksanaan pengukuran biomassa di atas permukaan tanah dimulai pada pembuatan plot pengukuran, pengukuran biomassa pohon, pengukuran tumbuhan bawah dan serasah serta

pengukuran nekromassa. Metode pengambilan data lapangan (SNI 2011), dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya data lapangan diolah menggunakan persamaan allometrik yang sesuai dengan kondisi hutan lahan kering campuran. Penghitungan biomassa menggunakan persamaan pada Tabel 4.

Tabel 3 Pengambilan data di lapangan

No	Komponen biomassa	Definisi	Cara	Ukuran plot	Jenis data yang dikumpulkan
1	Tiang	Pohon berdiameter 2-10 cm	Non-destruktif	5m x 5m,	Nama jenis, diameter (dbh), tinggi (h).
	Pancang Pohon	Pohon berdiameter 10-20 cm Pohon berdiameter >20 cm		10m x 10m, 20m x 20m	
2	Tumbuhan bawah	Semua vegetasi yang tumbuh di lantai hutan berupa herba, semak atau liana	Destruktif	2m x 2m, 5m x 5m, 10m x 10m. (3 kali ulangan pada ukuran subplot 0,5m x 0,5m). (Rusolono <i>et al.</i> 2015)	Berat basah total , berat basah contoh, berat kering contoh
3	Serasah	Semua bahan organik di lantai hutan yang belum terdekomposisi secara sempurna	Destruktif	2m x 2m, 5m x 5m, 10m x 10m, (3 Ulangan pada ukuran subplot 0,5m x 0,5m)	Berat basah total , berat basah contoh, berat kering
4	Nekromassa	Semua pohon mati yang berdiri maupun kayu mati atau bagian pohon yang telah rebah termasuk batang, cabang dan ranting	Non-destruktif	20m x 20m	Diameter (dbh), diameter ujung, diameter pangkal, panjang, berat jenis

Tabel 4 Persamaan penghitungan biomassa

No	Komponen biomassa	Persamaan biomassa	Keterangan	Data yang dihasilkan	Sumber
1	Pohon	$Y = 0.0673 (\rho D^2 H)^{0.976}$	Y: biomassa per pohon (kg); D: dbh (cm); ρ : kerapatan jenis pohon: 0,574 gr/cm ³ hutan alam campuran; H: tinggi (m).	Biomassa per pohon (kg)	(Chave <i>et al.</i> 2014)
2	Tumbuhan bawah	$B_o = \frac{B_{ks} \times B_{bt}}{B_{bs}}$	Bo: berat bahan organik (kg); Bks: berat kering contoh (kg)	Biomassa per plot (kg)	(SNI 2011)
3	Serasah	$B_o = \frac{B_{ks} \times B_{bt}}{B_{bs}}$	Bbt: berat basah total (kg); Bbs: berat basah contoh (kg)	Biomassa per plot (kg)	(SNI 2011)
4	Nekromassa (kayu mati berdiri dan kayu mati rebah)	$B_{kmb1} = 0.9B_{ap}$ $B_{kmb2} = 0.8B_{ap}$ $B_{kmb3} = 0.7B_{ap}$ $B_{kmb4} = 0.25\pi \left(\frac{D}{100}\right)^2 T f W D$ $B_{kmr} = V_{kmr} \cdot W_{Dkm}$	Bn: bahan organik pohon mati atau kayu mati (kg); Vn: volume pohon mati (m ³); BJn: berat jenis kayu pohon mati atau kayu mati (kg/m ³)	Biomassa per plot (kg)	(BSN 2011)

Analisis statistik digunakan untuk membangun dan menentukan model terbaik penduga biomassa tegakan di areal revegetasi bekas tambang PTVI. Tahapan analisis statistik dimulai dari uji koefisien korelasi, uji normalitas data, penyusunan model, uji validasi model, dan pemilihan model terbaik. Uji normalitas dilakukan pada taraf uji 5% atau $\alpha = 0,05$. Uji normalitas dilakukan dengan tujuan mengetahui distribusi variabel bebas yaitu indeks vegetasi apakah menyebar normal terhadap variabel terikat (biomassa). Uji normalitas dilakukan dengan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dengan software Minitab 17.

Pendugaan model biomassa dapat dilakukan dengan beberapa model regresi:

Regresi linier berganda: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$

Regresi logaritmik: $Y = b_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + \dots + b_nX_n$

Regresi kuadrat: $Y = b_0 + b_1X_1^2 + b_2X_2^2 + \dots + b_nX_n^2$

Regresi eksponensial: $Y = \exp(b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n)$

Regresi berpangkat: $Y = b_0 X_1^{b1} + X_2^{b2} + \dots + X_n^{bn}$

Keterangan:

Y = variabel terikat (biomassa dalam ton/ha)

b_0 = koefisien regresi

x = variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan adalah peubah dari citra (indeks vegetasi) dan C% (Persentase tajuk). Peubah terpilih ditentukan berdasarkan nilai r (koefisien korelasi), nilai R² (koefisien determinasi) dan VIF ≤ 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Korelasi Pearson (Biomassa, Indeks Vegetasi, dan C%)

Membangun hubungan antara variabel bebas dan variabel tak bebas dapat dilakukan dengan analisis korelasi antar peubah pembangun. Hubungan ini disebut

sebagai hubungan keeratan. Hubungan korelasi yang baik dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi yang tinggi antar peubah terikat terhadap variabel bebas. Selain itu, korelasi yang baik dapat dilihat dari nilai hubungan antara variabel bebasnya. Semakin kecil hubungan antar variabel bebas, nilai multikolinearitas juga bisa dihindari. Hasil korelasi antara biomassa, indeks vegetasi dan C% (persentase tutupan tajuk) menggunakan software minitab 17. Variabel bebas yaitu variabel hasil transformasi indeks vegetasi citra SPOT 6 tahun 2017 terdiri dari indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), TVI (*Transformed Vegetation Index*), SRVI (*Simple Ratio Vegetation Index*), DVI (*Difference Vegetation Index*), ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), IPVI (*Infrared Percentage Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) dan RVI (*Rasio Vegetation Index*) dan C% (persentase tajuk). Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini yaitu variabel data lapangan berupa data biomassa (pohon, tumbuhan bawah, serasah dan nekromassa). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya korelasi antara biomassa sebagai peubah tetap dengan indeks vegetasi dan C% sebagai variabel bebas.

Pemilihan variabel untuk menduga biomassa harus memiliki nilai korelasi yang tinggi terhadap biomassa dan memiliki nilai korelasi yang kecil terhadap variabel bebas lainnya. Nilai korelasi antara peubah bebas bisa dilihat dari nilai VIF agar dalam proses penyusunan model tidak terjadi multikolinearitas. Nilai batas VIF yang digunakan pada penelitian yaitu VIF < 5 . Sehingga berdasarkan kriteria tersebut maka variabel yang digunakan dalam menduga biomassa pada lokasi penelitian ini adalah SRVI, DVI dan C%.

Tabel 5 Korelasi antara biomassa lapangan, indeks vegetasi dan C% citra SPOT 6 tahun 2017.

	Biomassa	C%	RVI	DVI	GNDVI	IPVI	NDVI	SAVI	SRVI	TVI
C%	0,494									
RVI	-0,562	-0,716								
DVI	0,491	0,483	-0,817							
GNDVI	0,604	0,573	-0,908	0,953						
IPVI	0,619	0,711	-0,987	0,865	0,953					
NDVI	0,619	0,711	-0,987	0,865	0,953	1				
SAVI	0,619	0,711	-0,987	0,866	0,953	1	1			
SRVI	0,682	0,568	-0,834	0,899	0,943	0,905	0,905	0,905		
TVI	0,426	0,702	-0,752	0,264	0,447	0,691	0,691	0,691	0,454	
ARVI	0,58	0,822	-0,894	0,558	0,694	0,872	0,872	0,872	0,711	0,932

Menurut Huete *et al.* (2011), indeks vegetasi merupakan pengukuran tingkat kehijauan kanopi vegetasi, sifat komposit dari klorofil daun, luas daun, struktur dan tutupan kanopi vegetasi. Selain itu, indeks vegetasi pada pengembangannya telah banyak digunakan sebagai algoritma pengukuran seperti biomassa, klorofil dan LAI (*Leaf Area Index*). C% atau persentase tajuk di peroleh dari hasil klasifikasi visual dari citra menggunakan citra SPOT 6 tahun 2017. Hasil klasifikasi ini berupa nilai yang menggambarkan persen tutupan tajuk pada areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI.

Persentase tajuk merepresentasikan nilai kerapatan tajuk atau vegetasi yang merupakan salah satu kriteria yang dapat diasumsikan bahwa areal tersebut memiliki kandungan biomassa. Semakin rapat suatu vegetasi maka dapat diasumsikan jumlah kandungan biomassa juga semakin besar. SRVI adalah transformasi indeks vegetasi dari NDVI yang paling sederhana yang mampu merepresentasikan nilai kerapatan vegetasi. Sedangkan DVI adalah indeks vegetasi yang sangat sensitif terhadap kondisi tanah yang bermanfaat dalam memantau kondisi lingkungan ekologi vegetasi (Xue dan Su 2017). Pemilihan DVI, C% dan SRVI sebagai variabel bebas dalam membentuk model persamaan pendugaan

biomassa karena nilai korelasi yang cukup tinggi terhadap variabel terikat. Selain itu, ketiga variabel DVI, C% dan SRVI memiliki nilai VIF < 5 yang menunjukkan bahwa variabel tersebut bebas dari multikolinearitas. Indeks vegetasi SRVI, DVI dan C% memiliki keterkaitan dalam menggambarkan kerapatan vegetasi yang secara langsung berpengaruh untuk membangun model penduga biomassa

2. Model Penduga Biomassa diareal Revegetasi Bekas Tambang PTVI

Pada penelitian ini jumlah plot contoh yang diambil dilapangan sebanyak 62 plot. Jumlah plot yang digunakan dalam membangun model sebanyak 41 plot dan untuk validasi sebanyak 21 plot. Penyusunan model penduga biomassa menggunakan analisis regresi antara variabel Y (biomassa lapangan) dan variabel X (nilai indeks vegetasi SRVI dan DVI yang didapatkan dari transformasi nilai citra SPOT 6 tahun 2017 dan C% (persentase tutupan tajuk) hasil klasifikasi visual citra SPOT 6 tahun 2017. Model yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Model persamaan pendugaan biomassa di areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI.

Model	Model Regresi	Persamaan Regresi	S	R ² (%)	R ² Adj (%)	F-Hit
M1	Linear Berganda	$Y = -27,4 + 0,0599 X_1 + 0,447 X_2$	29,1174	32,76%	29,23%	9,26
M2	Linear Berganda	$Y = -39,3 + 0,210 X_2 + 15,39 X_3$	25,5448	48,25%	45,53%	17,72
M3	Logaritmik	$Y = -348 + 44,0 \ln X_1 + 25,7 \ln X_2$	29,4387	26,61%	22,54%	6,53
M4	Logaritmik	$Y = -113,7 + 76,6 \ln X_2 + 10,9 \ln X_3$	26,0656	42,47%	39,27%	13,29
M5	Kuadratik	$Y = -6,8 + 0,000042 X_{12} + 0,00477 X_{22}$	2,257	32,12%	28,55%	8,99
M6	Kuadratik	$Y = -8,9 + 0,00322 X_{22} + 1,468 X_{32}$	25,6628	47,77%	45,02%	17,38
M7	Eksponensial	$Y = \exp(-5,764 + (0,00433 X_1) + (0,0699 X_2))$	1,5147	71,32%	69,81%	47,24
M8	Eksponensial	$Y = \exp(-5,623 + (0,0652 X_2) + (0,686 X_3))$	1,49824	71,94%	70,46%	48,7
M9	Berpangkat	$Y = 2,59505E-13 X_1 2,489 X_2 3,645$	1,16202	70,60%	68,97%	43,23
M10	Berpangkat	$Y = 2,05052E-07 X_2 3,062 X_3 3,394$	1,07318	74,93%	73,53%	53,79

R² (%) = Koefisien determinasi; S = Simpangan baku; X₁ = DVI; X₂ = C%; X₃ = SRVI

Tabel 6 menunjukkan model pendugaan biomassa bervariasi. Model yang baik adalah model yang memiliki nilai koefisien determinasi yang tinggi dan simpangan baku yang kecil. Selain itu, harus memiliki nilai yang lebih besar dari P-Value atau taraf uji 5% ($\alpha = 0,05$). Tabel 6 menunjukkan nilai koefisien determinasi yang tinggi terdapat pada M10 yaitu sebesar 74,93% dan nilai

simpangan baku terkecil yaitu 1,07318% dengan model regresi berpangkat. Krebs (2014), menyatakan jika nilai R² berada pada selang 0,75-0,99 maka keterkaitan yang dimiliki sangat kuat. Tutupan tajuk tanaman revegetasi merepresentasikan vegetasi yang sehat. Persentase tajuk dipengaruhi oleh kondisi tanam dan umur vegetasi. Semakin rapat vegetasi maka nilai persentase tajuk juga

semakin besar. Berdasarkan data lapangan umur tanaman revegetasi periode pertama sudah berumur 18 tahun. Variabel bebas SRVI merupakan transformasi indeks vegetasi yang paling sederhana yang mampu menonjolkan aspek kerapatan vegetasi.

3. Uji Normalitas

Pada penelitian ini menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dan metode scatter plot. Setelah melakukan uji normalitas, didapatkan tiga model regresi yang tidak normal meskipun memiliki nilai koefisien

determinansi (R^2) yang tinggi. Model yang tidak normal yaitu model yang memiliki nilai P-Value lebih kecil dari nilai taraf uji 5% ($\alpha = 0,05$). Didapatkan pada M7 (model regresi eksponensial), M8 (model regresi eksponensial) dan M10 (model regresi berpangkat). Nilai P-Value dari masing-masing model secara berurutan yaitu 0,041, 0,01 dan $0,03 < 0,05$ (taraf uji). Nilai ini didapatkan setelah melakukan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dan uji Scatter plot. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil uji normalitas data model.

Model	Scatter plot	P-Value
M1	Normal	>0,150
M2	Normal	>0,150
M3	Normal	>0,150
M4	Normal	>0,150
M5	Normal	>0,150
M6	Normal	>0,150
M7	Tidak normal	0,041
M8	Tidak normal	0,01
M9	Normal	0,098
M10	Tidak normal	0,03

Selain uji normalitas *Kolmogorov_Smirnov* juga dilakukan uji normalitas berdasarkan scatter plot untuk melihat apakah data menyebar atau terdistribusi secara normal atau tidak. Kenormalan data dapat dilihat berdasarkan garis lurus grafik. Gambar 2 menunjukkan hasil uji normalitas berdasarkan *scatter plot*. Hasil uji normalitas diperoleh M7, M8 dan M10 menjauhi garis lurus sehingga memperoleh kesimpulan data tidak terdistribusi secara normal.

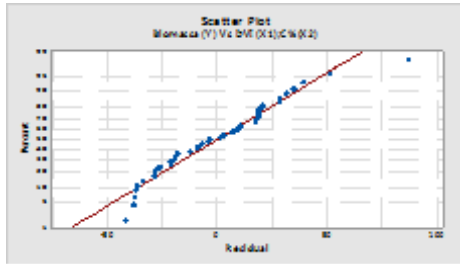
4. Validasi dan Pemilihan Model

Sebanyak 20 plot data validasi dari 61 plot digunakan untuk uji validasi model. Persamaan model yang baik dan layak digunakan dapat di lihat dari nilai simpangan agregat yang memiliki rentang antara -1 sampai +1 (Jaya *et al.* 2017).

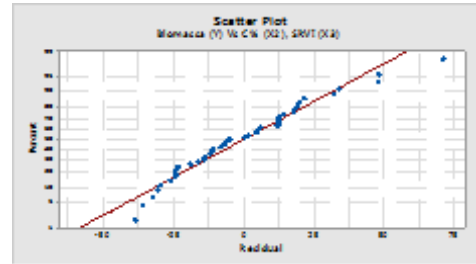
Hasil yang diperoleh dari penelitian didapatkan rentang nilai simpangan agregat antara -0,3528 sampai -0,0067. Menurut Spurr (1952), uji validasi model dapat dilakukan dengan melihat salah satu nilai simpangan agregat (SA), simpangan rata-rata (SR). Hasil validasi model diperoleh M9 sebagai model terbaik yang

memiliki koefisien determinasi yang tinggi sebesar 70,60% dan nilai simpangan agregat (SA) sebesar -0,3528. Menurut Kuncahyo (2015), model terbaik adalah model yang memberikan kesalahan pendugaan terkecil atau mempunyai koefisien determinasi yang tinggi dan mudah dalam penggunaannya.

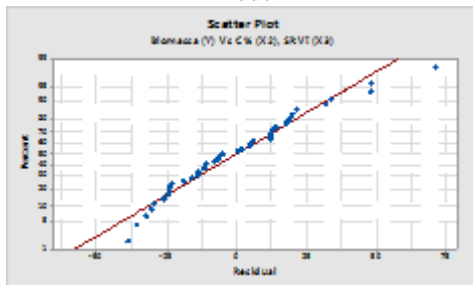
Model terpilih (M9) memiliki persamaan $Y = 2,59505E-13 X_1^{2,489} X_2^{3,645}$ dengan variabel bebas $X_1 =$ DVI dan $X_2 =$ C% (persentase tajuk). Secara teori, DVI merupakan transformasi indeks vegetasi yang mampu membedakan antara tanah dan vegetasi juga sangat sensitif terhadap jumlah vegetasi. Sedangkan C% (persentase tajuk) merupakan hasil dari klasifikasi visual yang mampu menggambarkan besaran luas diameter tajuk pada satu kumpulan vegetasi. Sehingga, kebaikan model dalam menggambarkan kondisi di lapangan dan untuk menduga kandungan biomassa di areal revegetasi bekas tambang bisa digunakan. Kedua variabel bebas DVI dan C% bisa dijadikan sebagai indikator variabel pembangun model penduga biomassa di areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI.



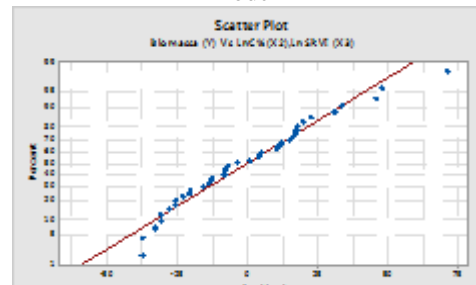
Model 1



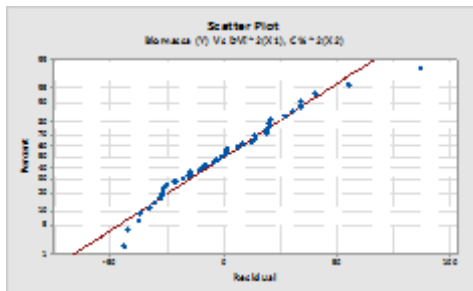
Model 2



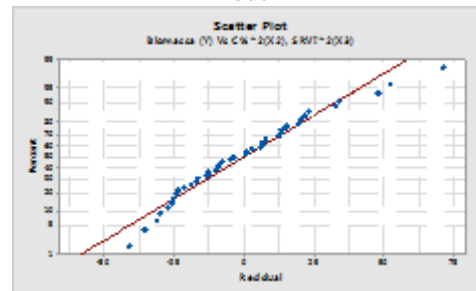
Model 3



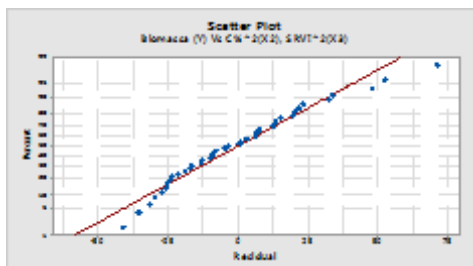
Model 4



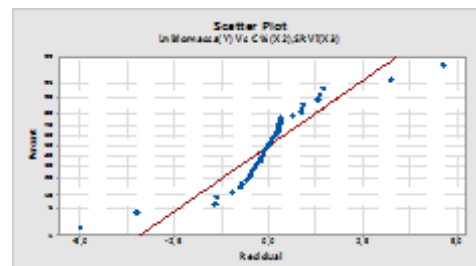
Model 5



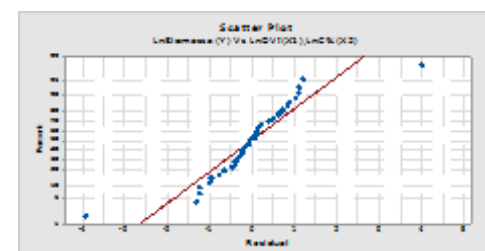
Model 6



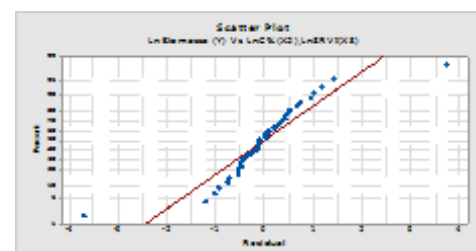
Model 7



Model 8



Model 9



Model 10

Gambar 2 Uji normalitas berdasarkan scatter plot

Tabel 8 Hasil uji validasi model

Model	SA	R ² (%)
M1	-0,0625	32,76%
M2	-0,0069	48,25%
M3	-0,0764	26,61%
M4	-0,0067	42,47%
M5	-0,0890	32,12%
M6	-0,0135	47,77%
M9	-0,3528	70,60%

SIMPULAN

Model persamaan terbaik untuk menduga kandungan biomassa (Y) di areal revegetasi bekas tambang nikel PTVI yaitu $Y = 2,59505E-13 X_1^{2,489} X_2^{3,645}$. Variabel bebas dari persamaan yaitu $X_1 = \text{DVI (Difference Vegetation Index)}$ dan $X_2 = \text{C\% (persentase tajuk)}$. Model persamaan ini merupakan model regresi berpangkat dengan nilai simpangan baku (s) sebesar 1,162 dan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 70,60%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar F. 2009. Evaluasi tingkat keberhasilan revegetasi lahan bekas tambang nikel di PT Inco Tbk. Sorowako, Sulawesi Selatan [skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Achmad E, Jaya INS, Saleh MB, Kuncahyo B. 2013. Biomass estimation using ALOS PALSAR for identification of lowland forest transition ecosystem in Jambi Province. *J. Manaj. Hutan Trop. (Journal Trop. For. Manag.* 19(2):145–155.doi:10.7226/jtfm.19.2.145
- Adnyano AAIA. 2016. The assessment of the level the success of reclaiming (Permen ESDM No. 7 Year 2014) former land mine pit 1 PT Pipit Mutiara Jaya In The District Tana Tidung North Borneo. *Process. Mine Environ. J.* 4(7):34–39.
- Alvarez E, Duque A, Saldarriaga J, Cabrera K, de las Salas G, del Valle I, Lema A, Moreno F, Orrego S, Rodríguez L. 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *For. Ecol. Manage.* 267:297–308.doi:10.1016/j.foreco.2011.12.013.
- Atzberger C, Eilers PHC. 2011. A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. *Int. J. Digit. Earth.* 4(5):365–386.doi:10.1080/17538947.2010.505664
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon, Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): BSN
- Chave J, Rejou-Mechain M, Burquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Deliti WBC, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martinez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Pelissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G. 2014. Improve allometric models to estimate the above ground biomass or tropical trees. *Global Change Biology.* 20:3177-3190.
- Foody GM, Boys DS, Cutler MEJ. 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from LandsatTM data and their transferability between regions. *Remote sensing of Environment.* 39(2). 119-140.
- Hall A. (2012). *Forests and Climate Change. The Social Dimensions of REDD in Latin America*. Cheltenham (UK): Edward Elgar Publishing Limited.
- Hansen AJ, Phillips LB, Dubayah R, Goetz S, Hofton M. 2014. Regional-scale application of lidar: Variation in forest canopy structure across the southeastern US. *Forest Ecology and Management.* 329 (214-226).
- Hilmi E. 2003. Model penduga kandungan karbon pada pohon kelompok jenis *Rhizophora spp.* dan *Bruguiera spp.* dalam tegakan hutan mangrove (Studi Kasus di Indragiri Hilir Riau) [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Huete A, Didan K, Leeuwen WV, Miura T, Glenn E. 2011. *MODIS Vegetation Indices. Land Remote Sensing and Global Environmental Change*. New York (US): Springer.
- Jaya INS, Agustina TL, Saleh MB, Shimada M, Kleinn C, Fehrmann L. 2013. Above ground biomass estimation of dry land tropical forest using ALOS PALSAR in Central Kalimantan, Indonesia. In: *Proceedings of the 3rd International DAAD Workshop Forests in Climate Change Research and Policy: The Role of Forest Management and Conservation in a Complex International Setting. 28th November to 2nd December 2012*, Dubai and Doha. Cuvellier Verlag Göttingen.
- Jaya INS, Saleh MB, Kafabih F, AL-Hadad MF, Sufiana K, Sardianto. 2017. *Monograf Dimensi Kuantitatif Sengon Tapak kalimantan: Kualitas Tempat Tumbuh, Riap, Model penduga Biomassa berbasis*

- terestris dan Penginderaan Jauh. Bogor (ID): IPB Press.
- [KEMENHUT] Kementerian Kehutanan. 2013. *Peraturan Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan nomor: P.01/VIII-P3KR/2012 Tentang Pedoman Penggunaan Model Allometrik Pendugaan Biomassa dan Karbon Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Puslitbang Kehutanan.
- Krebs CJ. 2014. *Ecological Methodology*. Vancouver (CA): University of British Columbia.
- Krisnawati H, Adinugroho WC, Imanuddin R. 2012. *Monograf Model-Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon Pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Litbang Kehutanan.
- Kuncahyo B. 2015. *Pemodelan Sistem Terapan*. Bogor (ID): Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Pflugmacher D, Cohen WB, Kennedy RE, Yang Z. 2014. Using Landsat-derived disturbance and recovery history and lidar to map forest biomass dynamics. *Remote Sens. Environ.* 151:124–137. doi:10.1016/j.rse.2013.05.033.
- Prameswari AASR, Hariyanto T, Sidik F. 2015. Analisis indeks vegetasi mangrove menggunakan citra satelit ALOS AVNIR-2 (Studi kasus: Estuari Perancak, Bali). *Geoid*. 11 (1): 40-45.
- Puspaningsih N. 2011. *Pemodelan spasial dalam monitoring revegetasi Kawasan Pertambangan Nikel Pt. Inco di Sorowako Sulawesi Selatan [disertasi]*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rusolono T, Tiriyana T, Purwanto J, Sumantri H. 2015. *Panduan Survei Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Flora di Sumatra Selatan*. Jakarta (ID): GIZ BIOCLIME.
- Setiadi Y. 2005. *Restoration Degraded Land After Mining Operation*. Bogor (ID): Faculty of Forestry IPB.
- Smith C, Bowie M, Hahner J, Boyer S, Kim Y-N, Zhong H-T, Abbott M, Rhodes S, Sharp D, Dickinson N. 2016. Punakaiki Coastal Restoration Project: A case study for a consultative and multidisciplinary approach in selecting indicators of restoration success for a sand mining closure site, West Coast, New Zealand. *Catena*. 136: 91-103
- SNI. 2011. *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Indonesia:1–24. doi:10.1186/1471-2407-13-494.
- Spurr SH. 1952. *Forest Inventory*. New York(US): The Ronald Press Company, Inc.
- Sutaryo D. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor (ID): Wetlands International Indonesia Programme.
- Syaufina L, Ikhsan M. 2013. Estimasi simpanan karbon di atas permukaan lahan reklamasi pasca tambang PT. Antam UBPE Pongkar Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 4(2): 100-107
- Xue J, Su B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *J. Sensors*. doi:10.1155/2017/1353691.
- Wei X, Wei H, Viadero RC. 2011. Post-reclamation water quality trend in a Mid- Appalachian watershed of abandoned mine lands. *Science of the Total Environment*. 409 (5): 941-948.